M. SMOLUCHOWSKI

NOMBRE ET DIMENSIONS DES MOLÉCULES ET DES ATOMES

EXTRAIT DE "SCIENTIA,,
VOL. XIII, 7.ème ANNÉE (1913), N. XXVII-1

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI

LONDON
WILLIAMS AND NORGATE

PARIS
FÉLIX ALCAN

LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN

"SCIENTIA„

(RIVISTA DI SCIENZA)

Organo internazionale di sintesi scientifica - Revue internationale de synthèse scientifique
International Review of Scientific Synthesis - Internationale Zeitschrift für wissenschaftliche Synthese

Paraissant tous les deux mois

(6 numéros par an de 240 à 250 pages chacun)

DIRECTION:

G. Bruni - A. Dionisi - F. Enriques - A. Giardina - E. Rignano

---

"SCIENTIA„ a été fondée en vue de contrebalancer les fâcheux effets de la spécialisation scientifique à outrance. Elle ne traite que des sujets d'ordre tout à fait général et vise surtout aux rapports qui unissent les différentes sciences entre elles: elle tend par là à la sinthétisation et unification de la science. Par ses *Articles* se rapportant aux branches les plus diverses de la recherche théorique, depuis les mathématiques jusqu'à la sociologie, par ses *Notes Critiques* sur les questions fondamentales le plus à l'ordre du jour, par ses *Comptes Rendus* de tous les ouvrages scientifiques d'intérêt général, par ses *Revues Générales* des derniers progrès dans chaque branche de la science, par ses *Analyses* des articles les plus importants parus sur les autres principaux périodiques de tout le monde, par sa *Chronique* des Congrès et de tous les autres événements de haute importance scientifique, — elle cherche en outre à donner l'idée la plus complète de l'ensemble du mouvement scientifique contemporain.

"SCIENTIA„ fait appel, pour le développement de son programme, à la coopération des autorités scientifiques les plus éminentes de tous les pays. L'accueil favorable qu'elle a rencontré auprès de celles-ci, la collaboration tout-à-fait internationale et de premier ordre qu'elle a réussi à s'assurer, et la diffusion si large qu'elle a gagnée en peu de temps dans tout le monde ont démontré combien son programme correspondait à un vrai besoin du monde savant actuel.

"SCIENTIA„ publie ses articles dans la langue de leurs auteurs. Mais au texte principal est joint ***un supplément avec la traduction française de tous les articles originaux allemands, anglais et italiens.*** Toutes les autres rubriques sont en français ou, elles aussi, traduites en français.

(Pour les renseignements aux auteurs et les abonnements voir la page 3 de la couverture)

Anno - Année / Jahr - Year VII. 1 - I - 1913 Vol. / Band XIII, N. XXVII-1

"SCIENTIA"

(RIVISTA DI SCIENZA)

Organo internazionale di sintesi scientifica - Revue internationale de synthèse scientifique
Internationale Zeitschrift für wissenschaftliche Synthese - International Review of Scientific Synthesis.

INDEX

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI

LONDON WILLIAMS AND NORGATE — PARIS FÉLIX ALCAN — LEIPZIG WILHELM ENGELMANN

Direzione e Redazione: Milano, Via Aurelio Saffi, 11.

Articles déjà publiés par "SCIENTIA„

Abegg, R. (*Breslau*): Chemische Affinität, Valenz und das natürliche System der Elemente (L'affinité chimique, la valence et le système naturel des éléments).

André, Ch. (*Lyon*): L'hypothèse nébulaire de Laplace et la théorie de la capture de M. T. J. J. See.

Arrhenius, S. (*Stockholm*): Die Unendlickheit der Welt (L'univers infini).

— Ueber den Ursprung des Gestirnkultus (Sur l'origine du culte des astres).

Asher, L. (*Bern*): Die Beziehungen zwischen Struktur und Funktion im tierischen Organismus (Les relations de la structure et la fonction dans l'organisme animal).

Bayliss, W. M. (*London*): The functions of enzymes in vital processes (Les fonctions des enzymes dans les processus vitaux).

Becher, S. (*Giessen*): Ueber Handlungsreaktionen und ihre Bedeutung für das Verständnis der organischen Zweckmässigkeit (Sur les réactions-actes et leur signification pour l'intelligence de la finalité organique).

Bethe, A. (*Strassburg*). Neuere Vorstellungen über die Natur der bio-elektrischen Ströme (Les idées modernes sur la nature des courants bio-électriques).

Bohlin, K. (*Stockholm*): Was ist die Milchstrasse? (Qu'est-ce que la voie lactée?).

— Die veränderlichen Sterne (Les étoiles variables).

Bohn, G. (*Paris*): Le psychisme chez les animaux inférieurs.

Bonar, J. (*Ottawa - Canada*): Home trade and foreign trade (Commerce intérieur et commerce international).

Bonnesen, T. (*Kopenhagen*): La réforme de l'enseignement des mathématiques élémentaires.

Borel, E. (*Paris*): Le continu mathématique et le continu physique.

Bortkiewicz, L. (*Berlin*): Die statistischen Generalisationen (Les généralisations statistiques).

Bottazzi, F. (*Napoli*): La chimica fisica e la fisiologia (Chimie physique et physiologie).

Boruttau, H. (*Berlin*): Die innere Sekretion (La sécrétion interne).

Bouasse, H. (*Toulouse*): Développement historique des théories de la physique.

Boutroux, P. (*Poitiers*): L'évolution des mathématiques pures.

Brillouin, M. (*Paris*): Propos sceptiques au sujet du principe de relativité.

Brunhes, B. (*Clermont Ferrand*): La diversité de fortune des deux principes de la thermodynamique.

Bruni, G. (*Padova*): Le soluzioni solide (Les solutions solides).

— La chimica fisica nei suoi rapporti con le scienze biologiche (La chimie physique dans ses rapports avec les sciences biologiques).

— L'opera di J. H. van't Hoff (L'œuvre de J. H. van't Hoff).

Bryan, G. H. (*Bangor*): Diffusion and dissipation of energy (Diffusion et dissipation de l'énergie).

Caetani, L. (*Roma*): La funzione dell'Islám nella evoluzione della civiltà (La fonction de l'Islam dans l'évolution de la civilisation).

Carver, T. N. (*Cambridge - U. S. A.*): The english classical school of political economy (L'école classique anglaise d'économie politique).

— Diminishing returns and value (Diminution du rendement et de la valeur).

Castelnuovo, G. (*Roma*): Il valore didattico della matematica e della fisica (La valeur didactique des mathématiques et de la physique).

— Il principio di relatività e i fenomeni ottici (Le principe de relativité et les phénomènes optiques).

Caullery, M. (*Paris*): La méthode et les critères de la morphologie.

Celoria, G. (*Milano*): L'opera di Giovanni Schiaparelli (L'œuvre de Giovanni Schiaparelli).

Chwolson, O. (*St. Pétersbourg*): Dürfen wir die physikalischen Gesetze auf das Universum anwenden? (Peut-on appliquer les lois de la physique à l'Univers?).

Ciamician, G. (*Bologna*): Problemi e metodi della chimica organica (Problèmes et méthodes de la chimie organique).

— La fotochimica dell'avvenire (La photochimie de l'avenir).

Claparède, E. (*Genève*): La fonction du sommeil.

Costantin, J. (*Paris*): Les progrès de la culture des fleurs et leur importance pour les théories transformistes.

Crommelin, A. C. D. (*Greenwich*): The origin and nature of comets (Origine et nature des comètes).

Cunningham, W. (*Cambridge - England*): Impartiality in history (L'impartialité de l'historien).

Darwin, G. H. (*Cambridge - England*): The rigidity of the earth (La rigidité de la Terre).

De Boissoudy, J. (*Clermont-Ferrand*): Le problème de la constitution de l'atome.

Delage, Y. (*Paris*): La parthénogenèse expérimentale et les propriétés des solutions électrolytiques.

De Marchi, L. (*Padova*): Che cos'è la Terra? (Qu'est-ce que la Terre?).

— Teorie geologiche: come si formano le montagne (Théories géologiques: comment se forment les montagnes).

— Nuove teorie sulle cause dell'era glaciale (Nouvelles théories relatives aux causes de l'ère glaciaire).

Demoor, J. (*Bruxelles*): A propos du mécanisme des phénomènes d'irritabilité.

Dionisi, A. (*Modena*): Il concetto di malattia (Le concept de maladie).

Doelter, C. (*Wien*): Die Anwendung der physikalischen Chemie auf Mineralogie und Geologie (La chimie physique appliquée à la minéralogie et à la géologie).

Driesch, H. (*Heidelberg*): Die Physiologie der individuellen organischen Formbildung (La physiologie du développement de la forme organique individuelle).

Dussaud, R. (*Paris*): Le rôle des Phéniciens dans la Méditerranée primitive.

Ebstein, W. (*Göttingen*): Zur Geschichte der Entwicklung des Krankheitsbegriffes (Pour l'histoire du concept de maladie).

Eddington, A. S. (*Greenwich*): Star-Streams (Les courants stellaires).

Edgeworth, F. Y. (*Oxford*): On the use of differential calculus in economics (De l'usage du calcul différentiel en économie politique).

Emery, C. (*Bologna*): Il polimorfismo e la fondazione delle società negli insetti sociali (Le polymorphisme et la fondation des sociétés chez les insectes sociaux).

— Le piante formicarie (Les plantes à fourmis).

Engelmeyer, P. K. (*Moscou*): Heurologischer Wert der technischen Erfindung (La valeur heurologique de l'invention technique).

Enriques, F. (*Bologna*): Heterodox science and is social function (La science hétérodoxe et sa fonction sociale).

— Le principe d'inertie et les dynamiques non-newtoniennes.

— L'università italiana (L'université italienne).

— La riforma dell'università italiana (La reforme de l'université italienne).

— Il principio di ragion sufficiente nella costruzione scientifica (Le principe de raison suffisante dans la construction scientifique).

— Razionalismo e storicismo (Rationalisme et historisme).

— La teoria dello stato e il sistema rappresentativo (La théorie de l'état et le système représentatif).

— La filosofia positiva e la classificazione delle scienze (La philosophie positive et la classification des sciences).

— Il pragmatismo (Le pragmatisme).

— I numeri e l'infinito (Les nombres et l'infini).

— Il problema della realtà (Le problème de la réalité).

— Matematiche e teoria della conoscenza (Mathématiques et théorie de la connaissance).

— Il significato della critica dei principii nello sviluppo delle matematiche (La critique des principes et son rôle dans le développement des mathématiques).

Enriques, P. (*Bologna*): La morte (La mort)
— — — — et **Gortani**, M. (*Bologna*): La successione degli strati e la teoria dei periodi geologici (La succession des couches et la théorie des périodes géologiques).

Fabry, Ch. (*Marseille*): La théorie électromagnétique de l'univers.

Fano, Gino (*Torino*): La geometria non-euclidea (La géométrie non-euclidienne).

Fano, Giulio (*Firenze*): Chimica e biologia (Chimie et biologie).

Findlay, Alex. (*Aberystwith*): Osmotic pressure and the theory of solutions (La pression osmotique et la théorie des solutions).

Fisher, I. (*New-Haven, Conn., - U. S. A.*): The « impatience » theory of interest (Une théorie de l'intérêt fondée sur l'impatience).

Foà, P. (*Torino*): Il significato biologico dei tumori (La signification biologique des tumeurs).

Fowler, A. (*London*): The chemical unity of the cosmos (L'unité chimique du monde).

Francé, R. H. (*München*): Das Reaktionsvermögen der Pflanze (Le pouvoir de réaction des plantes).

Fredericq, L. (*Liège*): De la coordination organique par action chimique.

Galeotti, G. (*Napoli*): Le teorie sulla immunità (Les théories sur l'immunité).
— La dottrina degli anticorpi (L'état de nos connaissances sur les anticorps).

Gini, C. (*Bologna*): Che cos'è la probabilità? (Qu'est-ce que la probabilité?)

Giuffrida-Ruggeri, V. (*Napoli*): Il pithecanthropus erectus e l'origine della specie umana (Le pithecanthropus erectus et l'origine de l'espèce humaine).

Goblot, E. (*Lyon*): Le concept et l'idée.

Grammont, M. (*Montpellier*): Phonétique historique et phonétique expérimentale.

Gregory, Y. W. (*Glasgow*): The structural and petrographic classifications of coast-types (Les classifications structurelle et pétrographique des types des côtes).

Guignebert, Ch. (*Paris*): Les origines chrétiennes.
— L'évolution du christianisme ancien.
— De Saint Augustin à Pie X.

Haberlandt, G. (*Gratz*): Ueber Bewegung und Empfindung im Pflanzenreich (Du mouvement et de la sensibilité dans le règne végétal).

Hahn, E. (*Berlin*): Die Entstehung der Bodenwirtschaft (Les origines de l'économie agricole).

Hartog, M. (*Cork*): The dynamics of mitotic celldivision (La dynamique de la division cellulaire mitotique).

Hertwig, O. (*Berlin*): Disharmonische Idioplasmaverbindungen und ihre Folgen (Fusions disharmoniques de l'idioplasma et leurs produits).

Herz, N. (*Wien*): Die Eiszeiten (Les époques glaciaires).
— Philosophische Konzeption und mathematische Analyse in der Weltbetrachtung (Conception philosophique et analyse mathématique dans l'observation de l'Univers).
— Die Entwicklung der Erde (L'évolution de la Terre).

Hinks, A. R. (*Cambridge*): The measurement of celestial distances (La mensuration des distances célestes).

Höber, R. (*Kiel*): Die biologische Bedeutung der Kolloide (La valeur biologique des colloïdes).

Hoernes, Moriz (*Wien*): Die körperlichen Grundlagen der Kulturentwicklung (Les bases structurales du développement intellectuel).
— Die ältesten Formen der menschlichen Behausung und ihr Zusammenhang mit der allgemeinen Kulturentwicklung (Les plus anciennes formes de l'habitation humaine et leur relation avec le développement général de la civilisation).
— Ursprung und älteste Formen der menschlichen Bekleidung (Origine et formes les plus anciennes du vêtement humain).

Hoernes, Rudolf (*Graz*): Die Bedeutung der Paläontologie für die Erdgeschichte (La signification de la paléontologie pour l'histoire de la Terre).

Janet, P. (*Paris*): Le subconscient.

Jespersen, O. (*Gentofte - Danemark*): Origin of linguistic species (L'origine des espèces linguistiques).

Kidd, B. (*Oxford*): The two capital laws of sociology (Les deux lois fondamentales de la sociologie).

Kühnert, F. (*Wien*): Die ideographische Schrift und ihre Beziehung zum Sprachbau im Chinesischen (L'écriture idéographique et les rapports avec la formation de la langue dans le chinois).

Landry, A. (*Paris*): Les trois théories principales de la population.

— L'école économique autrichienne: I. Histoire de l'école; ses conceptions méthodologiques. Ses théories. Conclusion.

Langevin, P. (*Paris*): L'évolution de l'espace et du temps.

Lebedew, P. (*Moscou*): Die Druckkräfte des Lichtes (Les forces de pression de la lumière).

Le Dantec, F. (*Paris*): Comment se pose la question de l'hérédité des caractères acquis.

Lehmann, O. (*Karlsruhe*): Scheinbar lebende fliessende Kristalle, künstliche Zellen und Muskeln (Cristaux fluides ayant une apparence de vie organique; cellules et muscles artificiels).

Levi, A. (*Firenze*): Il pensiero scientifico europeo nel secolo decimonono (La pensée scientifique en Europe au XIX siècle).

Loisy, A. (*Paris*): La critique des évangiles.

Loria, A. (*Torino*): L'indirizzo storico nella scienza economica (Le point de vue historique dans la science économique).

Lowell, P. (*Flagstaff*, *Arizona - U. S. A.*): Mars (Mars).

Mach, E. (*Wien*): Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen (Les idées directrices de ma théorie de la connaissance dans les sciences naturelles et l'accueil qu'elles ont reçu des contemporains).

Maunder, E. W. (*Greenwich*): The « canals » of Mars (Les « canaux » de Mars).

— The Sun-Spots (Les taches du Soleil).

Maunier, R. (*Paris*): La sociologie française contemporaine.

Mazzarella, G. (*Catania*): L'etnologia giuridica, i suoi metodi, i suoi risultati (L'ethnologie juridique, ses méthodes, ses résultats).

Meillet, A. (*Paris*): Linguistique historique et linguistique générale.

— Différenciation et unification dans les langues.

— L'évolution des formes grammaticales.

Miceli, V. (*Palermo*): Gli elementi vivi del diritto (Les éléments vivants du droit).

Milhaud, G. (*Montpellier*): Cournot et le pragmatisme scientifique contemporain.

Millosevich, E. (*Roma*): Dalla torre di Babele al laboratorio di Groninga (De la tour de Babel au laboratoire de Groningue).

Moreux, Th. (*Bourges*): Le Soleil et la prévision des pluies.

Nernst, W. (*Berlin*): Sur quelques nouveaux problèmes de la théorie de la chaleur.

Oppenheimer, F. (*Berlin*): Wesen und Entstehung des Kapitalismus (L' essence et l'origine du capitalisme).

Ostwald, W. (*Leipzig*): Zur modernen Energetik (De l'énergétique moderne).

— Der Wille und seine physische Grundlegung (La volonté et sa base physique).

— Ueber Organisation und Organisatoren. I. Teil: Allgemeine Theorie (De l'organisation et des organisateurs. Ière Partie: Théorie générale).

— Ueber Organisation und Organisatoren. II. Theil: Moderne Probleme (De l'organisation et des organisateurs. II.ème Partie: Problèmes modernes).

Pareto, V. (*Losanne*): L'économie et la sociologie au point de vue scientifique.

Pearl, R. (*Orono, Maine - U. S. A.*): Biometrical ideas and methods in biology: their significance and limitations (Les idées et méthodes biométriques en biologie: leur signification et leurs limitations).

Perozzi, S. (*Bologna*): Socialismo giuridico (Le socialisme juridique).

— Precetti e concetti nell'evoluzione giuridica (Préceptes et concepts dans l'évolution juridique).

Picard, E. (*Paris*): La mécanique classique et ses approximations successives.

Piéron, H. (*Paris*): Le problème de l'orientation, envisagé chez les fourmis.

Pikler, J. (*Budapest*): Ueber die biologische Funktion des Bewussteseins (Sur la fonction biologique de la conscience).

Pizzetti, P. (*Pisa*): Le misurazioni fisiche e la teoria degli errori d'osservazione (Les mesurages physiques et la théorie des erreurs d'observation).

Poincaré, H. (*Paris*): L'avenir des mathématiques.
— L'évolution des lois.
— La logique de l'infini.
— L'espace et le temps.

Puiseux, P. (*Paris*): La place du Soleil parmi les étoiles.

Rabaud, E. (*Paris*): L'évolution tératologique.

Raffaele, F. (*Palermo*): Il concetto di specie in biologia: I. Avanti e in Darwin; II. La critica post-darviniana (Le concept d'espèce en biologie: I. Avant et chez Darwin; II. La critique post-darwinienne).

Reinach, S. (*Paris*): De l'influence des images sur la formation des mythes.

Rey, A. (*Paris*): La possibilité d'une méthode positive dans la théorie de la connaissance.
— L'ostracisme du concept de force dans la physique moderne.

Riccobono, S. (*Palermo*): L'influenza del cristianesimo nella codificazione di Giustiniano (L'influence du christianisme dans la codification de Justinien).

Rignano, E. (*Milano*): Le rôle des « théoriciens » dans les sciences biologiques et sociologiques.
— La mémoire biologique en énergétique.
— Dell'origine e natura mnemonica delle tendenze affettive (De l'origine et de la nature mnémonique des tendances affectives).
— Dell'attenzione. 1.ª parte: Contrasto affettivo e unità di coscienza (De l'attention. 1ère partie: Contraste affectif et unité de conscience).
— Dell'attenzione. 2.ª parte: Vividità e connessione (De l'attention. 2ème partie: Vividité et connexion).
— Che cos' è il ragionamento? (Qu'est-ce que le raisonnement?).
— Qu'est-ce que la conscience?
— Il fenomeno religioso (Le phénomène religieux).
— Le matérialisme historique.
— Il socialismo (Le socialisme).

Righi, A. (*Bologna*): Comete ed elettroni (Comètes et électrons).

Ritz, W. (*Göttingen*): Die Gravitation (La gravitation).
— Du rôle de l'éther en physique.

Rosa, D. (*Firenze*): Delle leggi che regolano la variabilità filogenetica (Des lois qui gouvernent la variabilité phylogénétique).
— I dilemmi fondamentali circa il metodo dell'evoluzione (Dilemmes fondamentaux touchant la méthode de l'évolution).

Rouse, W. H. D. (*Cambridge*): Classical work and method in the twentieth century (Les études classiques pendant le XXe siècle).

Russell, E. S. (*London*): The evidence of natural selection (Les preuves de l'existence d'une sélection naturelle).
— Vitalism (Le vitalisme).

Sagnac, Ph. (*Lille*): De l'importance relative des faits économiques dans l'évolution historique.

Sayce, A. H. (*Oxford*): The laws of Babylonia (Les lois de Babylone).

Schiaparelli, G. (*Milano*): I primordi dell'astronomia presso i Babilonesi (La naissance de l'astronomie chez les Babyloniens).
— I progressi dell'astronomia presso i Babilonesi (Les progrès de l'astronomie chez les Babyloniens).

Scialoja, V. (*Roma*): L'arbitrio del legislatore nella formazione del diritto positivo (L'arbitraire du législateur dans la formation du droit positif).

Scott, D. H. (*London*): The evolution of plants (L'évolution des plantes).

See, T. J. J. (*Mare Island, California, U. S. A.*): The new science of cosmogony (La nouvelle science de la cosmogonie).

Seeliger, H. (*München*): Ueber die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum (Sur l'application des lois de la nature à l'Univers).

Semon, R. (*München*): Die physiologischen Grundlagen der organischen Reproduktionsphaenomene (Les fondements physiologiques des phénomènes organiques de reproduction).

Sergi, G. (*Roma*): Lacune nella scienza antropologica (Quelques lacunes dans la science anthropologique).

Severi, F. (*Padova*): Ipotesi e realtà nelle scienze geometriche (Hypothèses et réalité dans les sciences géométriques).

Sherrington, Ch. S. (*Liverpool*): The « rôle » of reflex inhibition (Le rôle de l'inhibition réflexe).

Simmel, H. (*Berlin*): Beiträge zur Philosophie der Geschichte (Quelques considérations sur la philosophie de l'histoire).

Smoluchowski, M. (*Lemberg*): Anzahl und Grösse der Moleküle und Atome (Nombre et dimensions des molécules et des atomes).

Soddy, F. (*Glasgow*): The parent of radium (Le père du radium).

— Transmutation, the vital problem of the future (La transmutation, problème vital de l'avenir).

Solla, R. (*Pola*): Die Pflanzenphysiologie in ihren Beziehungen zu den anderen Wissenschaften (La physiologie végétale et ses rapports avec les autres sciences).

Sollas, W. J. (*Oxford*): The evolution of man (L'évolution de l'homme).

Sombart, W. (*Breslau*): Die Entstehung der Städte im Mittelalter (L'origine des villes au moyen âge).

— Judaismus und Kapitalismus (Judaïsme et capitalisme).

Sommerfeldt, E. (*Tübingen*): Grundlagen der theoretischen Kristallographie (Les bases de la cristallographie théorique).

Suali, L. (*Pavia*): Esiste una filologia indiana? (Existe-t-il une philologie indienne?)

Suess, F. E. (*Wien*): Moderne Theorien der Erdbeben und Vulkane (Les théories modernes sur les tremblements de terre et les volcans).

Supino, C. (*Pavia*): Il carattere delle leggi economiche (Le caractère des lois économiques).

Tannery, J. (*Paris*): Questions pédagogiques: L'enseignement secondaire.

Thomson, A. (*Aberdeen*): What determines sex? (Qu'est-ce qui détermine le sexe?).

Uexküll, J. v. (*Heidelberg*): Die neuen Fragen in der experimentellen Biologie (Nouvelles questions de la biologie expérimentale).

Vacca, G. (*Roma*): La scienza nell'Estremo Oriente (La science dans l'Extrême-Orient).

Volterra, V. (*Roma*): Il momento scientifico presente e la nuova Società italiana per il progresso delle scienze (Le moment scientifique présent et la nouvelle Société italienne pour l'avancement des sciences).

Walden, L. (*Riga*): Ueber das Wesen des Lösungsvorganges und die Rolle des Mediums (Sur la nature du processus de solution et le rôle du solvant).

Wallerant, F. (*Paris*): Les liquides cristallisés.

Westermarck, E. (*Helsingfors*): The origin of religious celibacy (Les origines du célibat religieux).

White, W. H. (*London*): The place of mathematics in engineering practice (La place des mathématiques dans la pratique du génie).

Wiesner, J. (*Wien*): Der Lichtbedarf der Pflanze (La quantité de lumière nécessaire à la plante).

Xénopol, A. D. (*Jassy*): L'idée de loi scientifique et l'histoire.

Zeeman, P. (*Amsterdam*): L'origine des couleurs du spectre.

Zeuthen, G. H. (*Kopenhagen*): Quelques traits de la propagation de la science de génération en génération.

Ziegler, H. E. (*Jena*): Die natürliche Zuchtwahl (La sélection naturelle).

Ziehen, H. (*Frankfurt a. M.*): Die Kultur der Gegenwart (La culture intellectuelle de notre temps).

Sommaires des numéros parus en 1912 (6ème année)

Voir dans les pages précédentes la liste par ordre alphabétique de tous les articles publiés jusqu'ici.

"SCIENTIA„ paraît **TOUS LES DEUX MOIS.**

M. SMOLUCHOWSKI

NOMBRE ET DIMENSIONS DES MOLÉCULES ET DES ATOMES

EXTRAIT DE "SCIENTIA"

VOL. XIII, 7.ème ANNÉE (1913), N. XXVII-1

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI

LONDON
WILLIAMS AND NORGATE

PARIS
FÉLIX ALCAN

LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN

MILANO — TIPO-LIT. REBESCHINI DI TURATI E C.

La physique moderne est une science exacte: elle cherche à exprimer, sous une forme mathématique aussi précise que possible au point de vue quantitatif, les lois découvertes expérimentalement; par suite, elle ne reconnaît comme valables que les théories physiques qui se prêtent à une formulation numérique précise et qui sont vérifiées par la concordance mathématiquement exacte de leurs conséquences avec les lois établies quantitativement. C'est pourquoi le physicien moderne éprouve un certain malaise lorsqu'il entend louer les philosophes grecs Leucippe et Démocrite et le Romain Lucrèce comme étant les fondateurs de la théorie atomistique. Ce que l'on connaît de l'atomisme de l'antiquité et des interprétations qui en ont été données ultérieurement, lui paraît être un simple radotage, quelque chose de tout à fait fantaisiste, car il n'y trouve pas ce qui est le plus important pour une théorie physique, à savoir la preuve d'une concordance quantitative avec la forme numérique des lois naturelles. D'ailleurs on ne pouvait songer à pareille concordance tant que la physique n'avait qu'un caractère qualitatif.

Si l'atomisme remonte, en tant que doctrine philosophique, à bien plus de deux mille ans, en tant que théorie physico-chimique exacte il compte à peine un à deux siècles. Sans doute Daniel Bernoulli a reconnu dès 1738, par un coup de génie, que la loi de Boyle, d'après laquelle la pression d'un gaz est inversement proportionnelle au volume qu'il occupe,

s'explique d'une façon simple, si l'on admet que les gaz se composent de petites particules animées d'un mouvement rectiligne; mais c'est notablement plus tard qu'ont été trouvés des arguments d'un plus grand poids et d'une plus grande généralité, qu'on peut considérer comme des preuves véritables de la justesse de l'atomisme.

Naturellement il faut citer ici avant tout la découverte par Dalton, en 1808, de la loi des proportions multiples, qui régit les combinaisons chimiques, et qui est regardée, depuis qu'elle a été établie, comme la loi fondamentale de la chimie. Cette loi constituerait un fait absolument énigmatique, complètement incompréhensible, si les molécules des composés chimiques n'étaient pas formées de multiples entiers de différentes espèces d'atomes. Grâce à Dalton, l'atomisme est devenu le fondement de la chimie, fondement qui n'a jamais été ébranlé; depuis la grande découverte de ce savant, les chimistes n'ont jamais cessé de s'appuyer sur l'hypothèse atomiste, même lorsque, il y a une vingtaine d'années, elle fut l'objet d'attaques, éphémères, il est vrai, mais vigoureuses, dirigées contre elle au nom de la philosophie et de la physique (Mach, Ostwald).

L'hypothèse de la structure atomique de la matière a trouvé un autre appui solide dans la loi fondamentale de la cristallographie, établie en 1784 par Haüy, loi dite des indices rationnels, d'après laquelle les paramètres des surfaces des cristaux sont des multiples entiers et simples de certaines unités fondamentales. À la vérité, c'est seulement en 1849 que Bravais, le fondateur des théories modernes sur la structure des cristaux, reconnut toute la portée de cette loi; aujourd'hui encore, d'ailleurs, les physiciens accordent généralement trop peu d'attention à la loi en question, bien qu'elle mette directement en évidence le fait que la matière possède une structure pareille à celle d'un édifice en briques.

S'il s'agit de la physique proprement dite, c'est le principe de la conservation de l'énergie qui a fourni l'appui le plus important à l'atomisme et qui lui a permis de se compléter; ce principe se dégagea immédiatement de la conception que la chaleur est un phénomène de mouvement moléculaire et que la quantité de chaleur correspond à l'énergie cinétique de ce mouvement. C'est sur la fusion de l'atomisme avec cette notion que repose la théorie cinétique-atomistique

moderne, que pour la première fois on trouve formulée d'une façon exacte, et employée à l'explication mathématique de la loi des gaz de Boyle-Charles, dans les travaux de Clausius et de Maxwell (1857-1861).

Ainsi l'atomisme, une fois parvenu à ce stade, était déjà une théorie solidement établie, par laquelle un certain nombre de lois tout à fait fondamentales appartenant à différents domaines des sciences, étaient ramenées d'une façon extrêmement simple et mathématiquement exacte à l'hypothèse que la matière est composée de particules distinctes. Cependant il ne fut, dans un certain sens, qu'une théorie qualitative tant qu'il lui manqua l'élément quantitatif le plus essentiel, à savoir une idée de la grandeur et du nombre de ces particules.

Chose étrange, la chimie usuelle, qui opère constamment sur des atomes, qui en détermine avec la plus grande exactitude les masses relatives, qui recherche la manière dont ils sont groupés dans la molécule, n'offre aucun moyen de trouver leurs dimensions absolues. Il n'importe nullement, du reste, au chimiste praticien de connaître la grandeur de leur masse absolue; il prend comme unité la masse de l'atome d'hydrogène, détermine les masses relatives des autres atomes par rapport à l'hydrogène, et les nombres ainsi trouvés, qui représentent ce qu'on appelle les « poids atomiques », lui suffisent pour calculer la composition des composés chimiques et pour contrôler les formules chimiques.

Les physiciens ne cessaient de chercher à compléter la théorie atomistique par la détermination de ces données fondamentales, mais les phénomènes des processus thermodynamiquement réversibles ne leur en offraient pas la possibilité. Car il faut remarquer qu'avec des atomes ayant une grosseur absolue quelconque, aucun des phénomènes mentionnés plus haut ne serait le moins du monde différent de ce qu'il est. Tous s'accompliraient de la même manière si les atomes étaient, par exemple, aussi petits que l'on voudra, si même ils étaient infiniment petits, mais en nombre infini, et l'on pourrait admettre un atomisme qui se distinguerait à peine, en apparence, de la théorie de la continuité.

Mais il y a un autre ordre de phénomènes où la grosseur des atomes et leur nombre jouent un rôle d'une façon indirecte: ce sont les phénomènes, thermodynamiquement irréversibles, de la diffusion, de la conduction calorifique et du

frottement interne, phénomènes dont la théorie a été développée de ce point de vue en partie par Clausius, en partie par Maxwell. L'idée que la théorie mathématique de ces phénomènes permet de calculer la grandeur des atomes ou des molécules semble être venue d'abord au physicien viennois Loschmidt; il développa cette idée, en 1865, dans le mémoire célèbre intitulé *Zur Grösse der Luftmoleküle,* c'est-à-dire *Sur la grandeur des molécules de l'air* (« Comptes rendus des séances de l'Académie de Vienne »).

La méthode de calcul de Loschmidt repose essentiellement sur l'hypothèse, dont la justesse était alors considérée comme presque évidente, que les atomes, ou, pour mieux dire, les molécules des gaz, se comportent comme des balles élastiques solides. Les considérations suivantes feront comprendre l'idée fondamentale de Loschmidt: Quand on dit qu'un espace est rempli d'air, cela signifie en réalité que la plus grande partie de cet espace est vide; les molécules d'oxygène et d'azote n'occupent en fait qu'une faible fraction de cet espace, fraction que l'on peut déterminer approximativement en amenant l'air à l'état liquide par compression et refroidissement. D'après Loschmidt, les molécules sont alors presque en contact, tandis que, à l'état gazeux, elles se trouvent à des distances relativement grandes les unes des autres.

On pourrait alors facilement déduire leur nombre de ce « volume de condensation » si l'on connaissait leur grosseur. Or on peut déduire celle-ci de ce qu'on appelle le libre parcours moyen des molécules à l'état gazeux, c'est-à-dire de la longueur des chemins rectilignes que parcourent les molécules des gaz entre deux chocs consécutifs; et un raisonnement géométrique très simple portant sur le principe de la similitude géométrique nous apprend déjà que, l'espace étant également rempli mais la grosseur des molécules sphériques étant différente, cette longueur doit être proportionnelle au diamètre de ces molécules.

D'autre part, on voit facilement de quelle façon la marche de la diffusion (de même que celle des deux autres phénomènes mentionnés précédemment) doit dépendre de la longueur des parcours moyens, car la diffusion, c'est-à-dire le mélange graduel de deux gaz, doit évidemment s'effectuer d'autant plus vite que les chemins parcourus par les molécules gazeuses entre deux chocs sont plus longs. Il s'ensuit donc en somme

que, étant donné la fraction d'espace remplie par les molécules (et étant donné la température, car la vitesse du mouvement des molécules en dépend), la diffusion — ainsi que la conduction calorifique et le frottement interne — doit être plus intense si les molécules du gaz sont plus grosses, plus lente si ces molécules sont plus petites. Les formules mathématiques exactes de Clausius et de Maxwell conduisent à la même conclusion et fournissent en outre la valeur du coefficient de proportionnalité. D'ailleurs les phénomènes dont il vient d'être question ne sont pas les seuls qui s'accomplissent avec une vitesse directement proportionnelle à la grosseur et au nombre des molécules; le même fait caractérise encore d'autres phénomènes moléculaires thermodynamiquement irréversibles (par exemple, la conduction électrique dans les gaz et dans les électrolytes).

En s'appuyant sur ces considérations et en combinant deux grandeurs déterminées expérimentalement, le volume de condensation et le coefficient de frottement interne (au lieu de ce coefficient on pourrait tout aussi bien faire usage de la constante de diffusion), Loschmidt obtint pour le diamètre moléculaire, dans le cas de l'air, une valeur de $1{,}18.10^{-7}$ cm. Comme les molécules de l'oxygène et de l'azote sont diatomiques, ce résultat fait connaître en même temps l'ordre de grandeur des atomes.

Ce calcul fut regardé au début comme très hypothétique, quoique *a priori* ce nombre ne soit pas du tout invraisemblable, car en tout cas il est bien au-dessous de la limite de la divisibilité directe de la matière, réalisable par de grossiers moyens mécaniques, telle qu'on la constatée jusqu'à présent. Quelques indications à ce sujet pourront être intéressantes. Par exemple, l'or battu dont on se sert pour la dorure est ordinairement obtenu en feuilles si minces qu'elles sont transparentes, avec une coloration verdâtre; leur épaisseur est de 10^{-5} cm.; d'après Faraday, cette épaisseur peut être réduite par le laminage à 5.10^{-7} cm. Les fils de quartz les plus fins obtenus par Boys avaient une si faible épaisseur qu'on ne pouvait pas les percevoir au microscope. Il y a probablement aussi des bactéries dont la grandeur est au-dessous de la limite de la visibilité nette au microscope, c'est-à-dire inférieure à 2.10^{-5} cm. Dans l'ultramicroscope, qui a été introduit il y a dix ans, la limite de la visibilité (indistincte) a encore été considéra-

blement reculée. Au moyen de cet instrument, Siedentopf et Zsigmondy ont constaté dans le rubis artificiel à l'or l'existence de petits grains d'or de l'ordre de grandeur de 5.10^{-7} cm. D'après Drude, Reinold et Rücker et Johonott, l'épaisseur de bulles de savon a pu être réduite jusqu'à une valeur limite de 17 à 6.10^{-7} cm.

Toutes ces valeurs limites cadrent très bien avec l'hypothèse atomistique, si les particules dont se compose la matière sont, ainsi que l'indique Loschmidt, de l'ordre de grandeur d'un millionième de millimètre. Toutefois elles ne constituent pas une confirmation réelle du résultat obtenu par Loschmidt; elles montrent seulement que ce résultat est admissible, puisqu'il se trouve au-dessous de la limite de grandeur indiquée jusqu'à maintenant par l'expérience directe.

Par contre, une limite inférieure de grandeur possible semblait être donnée par les travaux de Lord Kelvin (Sir William Thomson), qui, quelques années après les recherches de Loschmidt, signala divers phénomènes, comme, par exemple, l'électrisation de contact et les phénomènes capillaires, qui conduiraient à des contradictions entre des lois physiques solidement établies dans le cas où la matière, divisée en particules de l'ordre de grandeur de 10^{-8} cm., aurait encore les mêmes propriétés qu'à l'état massif. À la vérité, on ne peut pas voir là non plus un calcul de la grosseur des atomes, mais seulement une évaluation qualitative de leur domaine d'action. Il serait même très facile de se figurer un milieu parfaitement continu, pourvu de forces d'une certaine espèce, semblable au milieu admis par Laplace dans sa théorie de la capillarité, qui, en apparence, se comporterait autrement en couches minces qu'à l'état massif. Pour la même raison, aucune des autres évaluations analogues qu'ont données différents auteurs ne constitue une véritable solution de notre problème.

Pendant longtemps l'idée exposée par Loschmidt constitua la seule méthode de calcul des grandeurs moléculaires; toutefois cette méthode se perfectionna grâce, d'une part, à l'acquisition de données expérimentales plus précises sur les phénomènes se rattachant au parcours moyen, d'autre part à un calcul plus exact de l'espace occupé par les molécules. À ce sujet il faut admettre que, même à l'état liquide, les molécules n'occupent pas absolument tout l'espace, qu'autour de chacune d'elles il y a encore un petit espace libre où elles peuvent

se mouvoir. Il paraît donc beaucoup plus exact de remplacer le « volume de condensation » par la grandeur b de l'équation d'état de Van der Waals, grandeur qui peut être déterminée expérimentalement, et qui, par suite de la façon dont cette équation a été obtenue, représente le quadruple du volume réellement occupé par les molécules. Dorn et Exner ont indiqué d'autres méthodes: ils ont fait usage de la constante diélectrique des gaz et de l'indice de réfraction, qui est en corrélation avec cette grandeur. Ils ont combiné ceci avec la théorie des diélectriques due à Clausius et à Mosotti, théorie qui regarde les atomes comme des balles douées de conductibilité électrique et logées dans le vide, et qui, dans cette hypothèse, permet de calculer au moyen de la constante diélectrique la fraction de l'espace qu'ils remplissent.

Toutefois le résultat de ces tentatives de perfectionnement ne fut pas complètement satisfaisant, car, si les différents procédés de calcul conduisaient à des nombres dont les ordres de grandeur étaient semblables, les différences étaient de beaucoup supérieures à celles qu'auraient pu expliquer des erreurs d'expérience. Dans son ouvrage bien connu sur la *Théorie cinétique des gaz* (paru en 1899), O. E. Meyer se livre à une discussion approfondie sur ce point, et calcule le diamètre moléculaire d'après les méthodes de Loschmidt, de Dorn, d'Exner et de Van der Waals; les valeurs qu'il obtient ainsi, pour l'hydrogène, par exemple, oscillent entre 3.10^{-7} et $0,14.10^{-7}$. La différence est encore plus considérable pour les nombres des molécules, qui dépendent des diamètres, car, pour un parcours moyen donné, ces nombres sont inversement proportionnels au carré des diamètres; il varieraient donc, suivant le procédé de calcul employé, dans le rapport de 1 à 400. Parmi ces différents nombres, O. E. Meyer choisit, sans raison bien solide, pour le diamètre moléculaire $\sigma = 0,2.10^{-7}$ cm., et, pour le nombre des molécules contenues dans un centimètre cube de gaz, $n = 6.10^{19}$ comme étant les valeurs les plus vraisemblables, et ces valeurs ont été généralement acceptées jusque dans les dernières années sur la foi de cette autorité.

Où en est cette question, envisagée du point de vue actuel de la science? Eh bien, il y a des objections très graves à faire à toute la méthode de calcul de Loschmidt, objections qui réduisent les résultats obtenus par cette méthode à une évaluation tout à fait grossière.

Avant tout, il est depuis longtemps hors de doute que les formules employées par O. E. Meyer et Clausius pour le calcul des parcours moyens, formules qu'ils ont obtenues par l'étude de la diffusion et de phénomènes analogues, sont inexactes. Leur forme générale est certainement exacte, mais la valeur du coefficient numérique qu'elles contiennent n'est pas encore connu aujourd'hui d'une façon précise. Boltzmann notamment a exposé les points faibles des calculs sur lesquels reposent ces formules, mais, malgré de grands efforts, cet éminent théoricien n'a pas réussi à les perfectionner. Jusqu'à présent ces calculs, pour lesquels on suppose que les molécules se comportent comme des balles élastiques, n'ont pas été exécutés d'une façon exacte; les difficultés en question n'ont même pas été résolues d'une manière définitive par les travaux plus récents de Langevin et de Jeans.

D'autre part, la théorie de Clausius et de Mosotti, qui a été mentionnée plus haut, n'a plus aujourd'hui, elle aussi, qu'un intérêt historique, car on sait maintenant avec certitude que les molécules et les atomes ne sont pas des corps doués de conductibilité électrique.

Mais voici une objection plus grave encore: Les molécules et les atomes ont-ils un volume invariable? Les profanes, qui sont habitués à se les représenter comme des grains solides et rigides, considèrent la chose comme évidente, mais les physiciens d'aujourd'hui sont d'un avis différent. Et d'abord, on sait maintenant que les constituants appelés atomes ne sont nullement des morceaux indivisibles de matière homogène — quoi qu'on se représente d'ailleurs sous le nom de matière homogène — mais possèdent une structure interne compliquée; c'est ce que démontrent d'une façon absolument irréfutable les phénomènes de la décomposition radioactive et du rayonnement spectral.

Il serait donc tout à fait vraisemblable *a priori* que la limite jusqu'à laquelle deux constituants de ce genre peuvent être approchés l'un de l'autre — limite qui détermine la grandeur de leur volume propre, impénétrable en apparence, dépendît de la pression qui les serre l'un contre l'autre, peut-être aussi de la température qui règne dans le système, etc. On pourrait s'attendre à ce que, quand deux atomes se rencontrent avec une grande vitesse, leurs centres arrivent plus près l'un de l'autre que quand ces atomes se rapprochent avec

une vitesse moindre. Et en effet, il y a quarante ans déjà, Stefan a tiré une pareille conclusion des mesures de la dépendance de la viscosité des gaz à l'égard de la température. Ces idées trouvent aussi une confirmation éclatante dans les expériences récentes relatives à l'absorption des rayons α par des substances matérielles; d'après ces expériences, les particules α, qui sont des atomes d'hélium électrisés positivement et lancés avec la vitesse énorme de 20.000 kilomètres environ à la seconde, pénètrent à travers beaucoup de centaines d'atomes d'une substance matérielle (d'or, par exemple), sans être notablement déviées de leur trajectoire rectiligne.

De tout cela il semble résulter que la grosseur des noyaux, impénétrables en apparence, des atomes, dépend des circonstances extérieures où on les observe, que, par exemple, elle pourrait différer, pour une seule et même substance, suivant que cette substance serait à l'état gazeux ou à l'état liquide. En outre, l'hypothèse de la forme sphérique est, bien entendu, tout à fait arbitraire, et, dans le cas des molécules polyatomiques à tout le moins, elle est certainement inexacte.

Par conséquent, non seulement la légitimité de la méthode employée par Loschmidt pour calculer la grosseur des molécules se trouve infirmée, mais encore il apparaît que le problème, dans son entier, doit être formulé d'une façon différente. Le point essentiel de l'atomisme est la question de savoir quel est le nombre d'atomes contenu dans un quantum déterminé d'une substance. C'est là un concept nettement défini, tout à fait indépendant de la question de savoir quelle est la nature de ces atomes. C'est seulement après avoir déterminé ce nombre qu'il convient de rechercher dans quelle mesure les circonstances extérieures influent sur le volume d'un atome ou d'une molécule, et quelle est la grandeur de ce volume dans des circonstances normales.

Depuis les travaux de Loschmidt, on a indiqué, pour résoudre ces questions, un certain nombre d'autres méthodes, au moyen desquelles on a trouvé, pour le diamètre des atomes, des valeurs variant entre 10^{-7} et 10^{-8} cm. Plusieurs de ces méthodes sont fort intéressantes et fort ingénieuses. Mais elles ne réalisent pas un progrès réel, car la plupart d'entre elles reposent sur une base encore plus incertaine, sur plus d'hypothèses encore que la méthode de Loschmidt, et toutes donnent prise aux graves objections que nous venons d'indiquer.

C'est seulement dans les dernières années qu'il a paru quelques travaux répondant à la manière rationnelle, exposée ci-dessus, de formuler le problème. Ces travaux ont jeté une lumière toute nouvelle sur la question, en permettant de déterminer directement le nombre des molécules.

Il convient ici d'indiquer avant tout un certain nombre de méthodes que l'on peut ramener à un point de vue unique. En effet elles reposent toutes sur l'observation d'équilibres thermodynamiques et mettent en évidence certaines anomalies qui contredisent la thermodynamique usuelle et qui doivent être attribuées au fait que le nombre des molécules est fini. La théorie en a été exposée par Einstein et par Smoluchowski; il s'est trouvé que, sur un certain point, cette exposition complétait des travaux antérieurs de Lord Rayleigh. Dans la mise en pratique de ces méthodes, c'est Perrin qui a le mieux réussi. Nous n'entrerons pas dans les détails, car cela nous mènerait trop loin. Nous nous bornerons à indiquer les méthodes suivantes:

1. Observation du mouvement brownien;
2. Phénomènes d'opalescence dans les gaz;
3. Répartition des particules d'une émulsion sous l'influence de la pesanteur.

Cette dernière méthode est la plus simple au point de vue théorique, et c'est aussi celle qui, au point de vue expérimental, a été le plus perfectionnée; aussi en parlerons-nous avec quelque détail.

Voici l'idée sur laquelle elle est fondée. Si nous pouvions fabriquer artificiellement des molécules de dimensions directement mesurables ou de masse directement pondérable, et si, d'autre part, nous pouvions déterminer, par les méthodes physico-chimiques usuelles, leur poids moléculaire chimique par rapport aux atomes d'hydrogène, le problème serait entièrement résolu, car nous aurions là un moyen de calculer le poids absolu de l'atome d'hydrogène, et, par conséquent, de déterminer le nombre d'atomes contenu dans une quantité donnée d'une substance.

Or cela est réalisable dans un certain sens. Si, par exemple, on délaye dans de l'eau de la gomme-gutte, substance employée comme couleur jaune, ainsi que tout le monde le sait, on obtient une émulsion. Or, d'après la théorie cinétique, les particules qui sont en suspension dans un liquide, comme

les petits grains de gomme-gutte, visibles au microscope, dont est composée l'émulsion, doivent se comporter, dans un certain sens, comme si c'étaient des molécules de gaz: ils ont la même énergie cinétique de mouvement et exercent une pression osmotique correspondante. Comme on le sait, Van't Hoff a prouvé il y a longtemps déjà, grâce aux expériences de Pfeffer, que les molécules d'une substance dissoute exercent la même pression osmotique que si elles formaient un milieu gazeux, quelle que soit la nature du dissolvant. Il doit en être absolument de même pour des particules d'une grosseur quelconque, car la grosseur de ces particules n'entre nullement en considération pour la validité de cette loi.

Par conséquent, si l'on abandonne l'émulsion à la seule influence de la pesanteur, les particules en suspension ne se déposeront pas complètement, comme on le croyait généralement autrefois, mais elles formeront au fond du récipient une couche d'une épaisseur finie, dont la densité ira en décroissant graduellement de bas en haut. Cette couche est comparable à l'atmosphère gazeuse qui entoure la terre. Car l'action de la pesanteur des particules dans le premier cas, des molécules d'air dans le second cas, qui les ferait se déposer si elle s'exerçait seule, est compensée par l'action contraire de leur mouvement moléculaire incessant, et la répartition finale est un compromis entre ces deux tendances contraires. La différence que présentent les deux cas est seulement quantitative: les particules de l'émulsion étant relativement très grosses, la pesanteur a sur elles un effet beaucoup plus marqué que sur les molécules de l'air. Aussi, tandis que c'est à une hauteur de 5600 m. que l'atmosphère terrestre est deux foix moins dense qu'au niveau de la mer, dans une émulsion de gomme-gutte, par exemple, dont les grains avaient un diamètre de 0,0009 mm., le nombre des grains contenus dans un volume déterminé diminuait de moitié, ainsi que l'a observé Perrin, pour chaque élévation de 0,003 mm.

Les nombres 5600 m. et 0,003 mm. sont une mesure pour la hauteur de l'atmosphère d'air et pour celle de l'atmosphère de gomme-gutte qui s'accumule au fond du récipient, et ils donnent en même temps le moyen de déterminer le poids relatif de ces molécules-grains de gomme-gutte par rapport aux molécules d'hydrogène, car, en vertu d'une loi générale, cette hauteur est, pour les différents gaz, inversement proportionnelle à leurs poids moléculaires. Dans le cas dont il s'agit ici,

il y a lieu de faire une correction, le poids des grains de gomme-gutte étant diminué, en apparence, par la poussée hydrostatique. D'autre part, on déduit facilement des dimensions de ces grains leur poids absolu. Le rapport de ces nombres donne donc le facteur par lequel il faut multiplier le poids atomique ou moléculaire chimique si l'on veut obtenir le poids absolu, exprimé en fraction de gramme, des atomes ou des molécules. D'après les mesures de Perrin, la valeur de ce facteur est $\frac{1}{7.10^{23}}$; il s'ensuit donc qu'inversement un gramme d'hydrogène, par exemple, contient 7.10^{23} atomes.

C'est là le nombre fondamental qu'il s'agissait de déterminer. L'exécution des mesures servant de base à ce calcul exige que l'on surmonte plusieurs difficultés techniques, telles que la réalisation d'une émulsion où tous les grains soient exactement de la même grosseur, la détermination précise de cette grosseur, le dénombrement d'un grand nombre de grains à un niveau exactement mesuré; mais, au moyen de quelques artifices, on y parvient d'une façon relativement simple. Perrin a accordé d'autant plus de confiance au nombre obtenu par lui et par ses collaborateurs (Dabrowski, Chaudesaigues) que les valeurs tirées de l'observation du mouvement brownien concordaient très bien avec lui.

Avant d'entrer dans plus de détails au sujet des conclusions à tirer de cette détermination, nous allons exposer brièvement la méthode la plus récente, qui est fondée sur des principes tout différents. Elle rivalise pour la simplicité avec celle que nous venons d'indiquer et peut-être la surpasse-t-elle encore en exactitude.

Dans l'électrolyse, comme on le sait, il faut qu'il passe une quantité d'électricité de 96513 coulombs, pour qu'il se sépare un gramme d'hydrogène (ou de tout autre ion monovalent). Or, pour la formation de chaque ion monovalent d'hydrogène, il se sépare un électron d'un atome chimique d'hydrogène. De pareils ions sont donc des atomes portant chacun une charge électrique élémentaire. Par conséquent, si l'on connaissait la charge d'un électron, on n'aurait qu'à diviser le nombre ci-dessus par cette charge pour obtenir le nombre d'atomes contenu dans un gramme d'hydrogène. L'exactitude de cette méthode de détermination ne dépendrait que de la précision avec laquelle on aurait trouvé la charge d'un électron.

Or un progrès tout à fait exceptionnel a été réalisé à cet égard dans ces dernières années: une méthode d'expérimentation dont le principe est dû à J. J. Thomson et à H. A. Wilson a été transformée par l'Américain Millikan d'une façon telle que non seulement elle a permis de calculer avec une grande précision la véritable charge d'un électron, mais encore a fourni une preuve péremptoire de ce fait que l'électricité est composée de véritables « atomes électriques », qu'on a appelés électrons.

Millikan obtient au moyen d'un pulvérisateur de très petites gouttelettes d'huile qui, précisément en vertu de leur petitesse, restent très longtemps suspendues dans l'air et, dans ces conditions, s'agrègent de temps en temps l'un ou l'autre des ions positifs ou négatifs toujours présents dans l'air. Il introduit alors une pareille gouttelette dans l'espace compris entre les plateaux, disposés horizontalement, d'un condensateur, et observe au moyen d'une lunette la vitesse avec laquelle elle tombe sous l'influence de la pesanteur. De cette vitesse on peut déduire, à l'aide d'une formule connue établie par Stokes, le diamètre de la gouttelette qu'à cause de sa petitesse on ne peut pas mesurer directement avec précision.

Ensuite on établit sur les plateaux du condensateur une différence de potentiel déterminée, de sorte que la gouttelette est soumise à l'influence combinée de son poids et de la force qui agit sur sa charge électrique. S'il s'agit, par exemple, d'une particule chargée négativement, on peut, en communiquant au plateau supérieur un potentiel positif convenable, faire en sorte qu'elle remonte sous l'action du champ électrique. De la vitesse de son ascension on déduit facilement la valeur de la force électrique qui agit sur elle, par rapport à son poids, et de cette valeur la grandeur de sa charge électrique.

Bien entendu, il est indispensable pour le succès de l'expérience d'éviter tout courant d'air; cette condition fut si bien remplie dans les expériences de Millikan qu'une seule et même goutte put être observée pendant des heures dans le champ de la lunette; durant ce laps de temps elle tomba et remonta plusieurs centaines de fois.

Il résulta des mesures de Millikan que les charges électriques des gouttelettes étaient des multiples entiers d'une quantité égale à $4{,}89.10^{-10}$ unité électrostatique. Elles étaient tantôt positives, tantôt négatives; elles étaient égales à quatre,

cinq, dix-sept, au maximum, de ces quanta élémentaires; mais, parmi quelques milliers d'expériences, il ne se manifesta pas une seule charge anormale, c'est-à-dire plus petite que ce quantum, ou en contenant une fraction.

C'est là une preuve évidente que l'électricité ne se présente jamais qu'en morceaux, pour ainsi dire, de grandeur constante — de la grandeur qu'on appelle « charge élémentaire » ou charge d'un « électron ». Cette méthode est d'une délicatesse et d'une précision véritablement admirables. Qui aurait pensé autrefois qu'il serait jamais possible de mesurer d'une façon aussi directe la charge d'un électron? Combien, d'autre part, serait insensée l'idée de construire une balance au moyen de laquelle on pourrait peser un atome!

On voit ici une fois de plus la supériorité des méthodes de mesure relatives aux grandeurs électriques sur celles qui visent d'autres grandeurs physiques. Il y a encore un certain nombre de méthodes de détermination de la charge élémentaire; elles sont également très intéressantes, mais elles sont inférieures pour l'exactitude à celle qui vient d'être décrite.

Revenons maintenant à notre problème primitif. Connaissant la charge élémentaire, nous obtenons immédiatement, ainsi qu'il a été dit plus haut, le nombre des atomes contenus dans un gramme d'hydrogène. Ce nombre $N = 5{,}9.10^{23}$. L'ordre de grandeur auquel on arrive ainsi, concorde donc parfaitement avec celui auquel Perrin est parvenu par une voie tout à fait différente, puisque, comme nous l'avons vu, il a trouvé $N = 7.10^{23}$; mais il y a cependant, entre les deux valeurs obtenues pour N, une certaine différence, qui n'est pas complètement expliquée. Tant que ces expériences n'auront pas été répétées par plusieurs autres observateurs, il sera difficile de dire lequel de ces deux nombres mérite le plus de confiance. Pourtant il semble qu'on doive considérer provisoirement le nombre trouvé par Millikan comme plus certain, car c'est plutôt dans la méthode employée par Perrin qu'on peut soupçonner l'existence de certaines sources d'erreur. Donc ce qui nous paraît le plus sûr aujourd'hui, c'est d'adopter la valeur $N = 6{,}3.10^{24}$, valeur qui correspond à une mesure faite par Zangger sur le mouvement brownien et qui concorde très bien avec celle que Planck a déduite de sa théorie du rayonnement, qui est $N = 6{,}2.10^{23}$. À la vérité, comme la théorie de Planck est fondée sur certains éléments hypothétiques encore complète-

ment inexpliqués, cette concordance ne peut pas être regardée comme une véritable preuve que notre choix est justifié, mais elle augmente la probabilité qu'il en est ainsi.

En tous cas, on voit que la théorie atomistique a fait dans les derniers temps un grand progrès, qu'elle s'est beaucoup perfectionnée au point de vue quantitatif. La question de savoir quel est le nombre d'atomes contenu dans un quantum donné d'une substance est résolue dans une certaine mesure. Il y a cinquante ans, on ne possédait pas la moindre donnée au sujet de la réponse à faire à cette question; il y a quinze ans, on pouvait encore se demander si le nombre d'atomes contenu dans un atome-gramme était plus près de 3.10^{24} ou de 6.10^{21}; aujourd'hui il ne peut plus s'agir que d'une différence de quelques centièmes dans les valeurs de N ci-dessus indiquées.

La connaissance de cette valeur permet de fixer un certain nombre de points essentiels. Avant tout, on voit qu'il faut diviser les poids atomiques chimiques par le nombre $6{,}3.10^{23}$ pour obtenir le poids vrai des atomes en fraction de gramme. La plus petite particule matérielle, neutre sous le rapport électrique, c'est-à-dire l'atome d'hydrogène, pèse donc exactement $1{,}6.10^{-24}$ gramme. Pour nous rendre mieux compte de ce que ce nombre représente, remarquons qu'une goutte de pluie contient autant d'atomes que la Méditerranée tout entière contient de gouttes d'eau.

Toutefois les atomes — nous le savons aujourd'hui — sont loin d'être les plus petites particules existantes, car ils possèdent une structure très compliquée. Les constituants dont ils sont formés deviennent visibles quand l'édifice atomique se désagrège; ce phénomène, que l'on observe chez les substances radioactives, est appelé « transformation radioactive » de l'atome. Comme on le sait, les atomes de ces substances sont constitués par des particules α, c'est-à-dire par des atomes d'hélium portant deux charges élémentaires positives, et par des particules β négatives, qui sont identiques aux particules élémentaires d'électricité négative connues sous le nom d'« électrons ». Il doit y avoir des particules positives encore plus petites que ces particules α, car l'ion hydrogène, qui est positif, ne pèse que le quart d'un atome d'hélium ($He = 4$), mais jusqu'à présent on n'a pas de renseignements précis sur la nature de ces constituants positifs.

On connaît très exactement la masse des électrons, qui sont négatifs; ainsi que J. J. Thomson l'a montré le premier, on peut la déduire de la déviation des rayons cathodiques dans un champ magnétique, et on constate ainsi qu'elle est égale à $\frac{1}{1820}$ de la masse d'un atome d'hydrogène. Mais les électrons sont toujours des particules chargées d'électricité négative; aujourd'hui encore c'est l'atome d'hydrogène qui doit être regardé comme la plus petite particule non électrisée connue, comme la plus petite parcelle de ce qu'on appelle matière.

De cette grandeur fondamentale on déduit ensuite d'une manière très simple le nombre de molécules contenu dans l'unité de volume d'un gaz quelconque dans les conditions normales (à la température de 0° C. et à la pression de 760 mm.). Car, ainsi qu'on le sait, les molécules d'hydrogène sont diatomiques; on multiplie donc ce nombre N par la demi-densité de l'hydrogène; on obtient ainsi $2{,}8.10^{19}$ pour le nombre de molécules contenu dans un cm.^{3} (valeur égale à la moitié environ de celle qu'avait admise O. E. Meyer). Suivant le principe d'Avogadro, ce nombre est, comme on le sait, le même pour tous les gaz. Les personnes qui se plaisent aux grands nombres pourront calculer, d'après celui-ci, combien l'atmosphère terrestre renferme de molécules ou de combien d'atomes environ notre système solaire peut être composé. Elles obtiendront un nombre de l'ordre de grandeur de 10^{44} dans le premier cas, et de 10^{56} dans le second.

C'est là, bien entendu, un amusement assez inutile, car nous ne pouvons pas concevoir de pareils nombres. Mais il importe de remarquer que dans le plus petit volume que l'on puisse discerner directement à l'œil nu, c'est-à-dire dans un cube de 0,1 mm. de côté environ, il n'y a pas moins de 3.10^{13} molécules de gaz dans les conditions normales. Ce fait est d'une grande importance en présence de l'interprétation atomistique-cinétique des principes de la thermodynamique, interprétation d'après laquelle le principe de l'entropie est un principe de probabilité fondé sur la statistique et n'est valable qu'avec une approximation telle que celle que comporte la loi des grands nombres. Or, dans la pratique macroscopique, on à toujours affaire à des nombres de molécules si énormes qu'il est clair qu'en fait la loi des grands nombres doit s'y vérifier avec une grande exactitude.

Par contre, dans les méthodes d'observation « microscopiques », on peut voir apparaître, dans certaines circonstances, les écarts qui existent entre l'état réel de la matière et la manière dont elle devrait se comporter d'après la thermodynamique usuelle; en fait, de pareils écarts forment précisément la base des méthodes ci-dessus de détermination du nombre des molécules (mouvement brownien, opalescence, répartition des particules). Nous devons toutefois nous abstenir de traiter d'une façon plus approfondie de la très intéressante connexion que nous venons de signaler entre la thermodynamique et les principes de la théorie des probabilités, car nous dépasserions ainsi de beaucoup le cadre de cette étude.

Du point de vue auquel on est parvenu on peut reprendre aujourd'hui la question de la grosseur des atomes. En employant la grandeur b de Van der Waals, on obtient pour les diamètres moléculaires de l'hydrogène, de l'argon, du crypton, de l'air, etc. des valeurs comprises entre 5.10^{-8} et 7.10^{-8} cm., résultat qui ne diffère pas beaucoup de celui auquel est arrivé Loschmidt.

Toutefois ce résultat ne permet nullement de résoudre les importants problèmes dont il a été question plus haut. Que signifie un pareil « diamètre »? Le volume des atomes ne doit-il pas plutôt être conçu comme une sorte de sphère d'action de forces répulsives, ainsi que Maxwell, par exemple, l'a admis dans ses derniers travaux sur la théorie cinétique des gaz? Dans cette théorie des gaz de Maxwell, qui est fondée sur l'hypothèse de forces moléculaires répulsives, inversement proportionnelles à la cinquième puissance de la distance, ne figure ni le concept des libres parcours moyens ni celui d'un véritable diamètre moléculaire.

On peut dire soit que les molécules de Maxwell ont un volume nul — si l'on entend par ce mot un volume nucléaire absolument impénétrable — soit que leur volume est infiniment grand — si l'on considère ce terme comme représentant la sphère d'action des forces répulsives, car, dans ce cas, ces forces, en toute rigueur, exercent leur action jusqu'à l'infini.

La loi spéciale, relative à l'action des forces moléculaires, que contient cette théorie des gaz de Maxwell, n'était, bien entendu, qu'une hypothèse provisoire, choisie pour certaines raisons mathématiques, et personne sans doute n'a jamais sérieusement cru à sa réalité, mais dans cette hypothèse est

contenue une idée très digne d'attention et qui possède une valeur permanente: l'idée que les propriétés caractéristiques de la « matière » se modifient de proche en proche d'une façon continue, au lieu qu'il y ait pour elles transition discontinue à la « surface » des molécules.

Faut-il donc achever l'édification de l'atomisme dans le sens de la théorie de la continuité ou dans celui de la théorie de la discontinuité? Il semble *a priori* que l'on puisse tout aussi bien mener à terme l'une de ces entreprises que l'autre. Ou bien doit-on combiner les deux hypothèses et admettre pour les atomes un véritable volume nucléaire « matériel », entouré d'une certaine sphère d'attraction, comme le font, par exemple, Sutherland et Kleemann dans leurs intéressantes spéculations? Pour pouvoir énoncer à ce sujet quelque chose de plus précis, il faudrait avant tout savoir d'une façon absolument exacte de quelle manière le diamètre atomique apparent, c'est-à-dire la plus petite distance entre deux atomes qui s'entrechoquent, dépend des vitesses de ces atomes et des autres circonstances qui peuvent influer sur sa grandeur.

Toutes ces questions ne recevront sans doute de réponses définitives que dans un avenir lontain. Elles sont manifestement liées à une autre question, celle de savoir quels sont les détails de la structure interne des atomes, et ne seront probablement résolues que conjointement avec les problèmes tout à fait analogues qui ont trait à la nature des électrons.

À peine la physique a-t-elle assuré une des bases du savoir moderne par la solution d'un problème fondamental de l'atomisme qu'elle se trouve en face d'un nombre déconcertant de nouvelles énigmes. Il est bon qu'il en soit ainsi, car autrement ce serait une science morte.

Lemberg, Uniwersytet.

(Traduit par M. E. Philippi, licencié ès sciences — Paris).

Viennent de paraître :

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

Les étapes de la philosophie mathématique, par LÉON BRUNSCHVICG, docteur ès lettres, professeur agrégé au lycée Henri IV. 1 vol. in-8 .... **10** fr.

Les antinomies entre l'Individu et la Société, par G. PALANTE, agrégé de philosophie. 1 vol. in-8 .... **5** fr.

Les Sentiments généreux, par A. CARTAULT, professeur à la Sorbonne. 1 vol. in-8 .... **5** fr.

La philosophie allemande au XIXe siècle. *Dilthey - Husserl - Eucken - Wundt - Simmel. — La philosophie des sciences historiques. — Les grands courants de l'esthétique allemande contemporaine,* par MM. Ch. ANDLER, V. BASCH, J. BENRUBI, C. BOUGLÉ, V. DELBOS, G. DWELSHAUVERS, B. GROETHUYSEN, H. NORERO. 1 vol. in-8 .... **5** fr.

Essai sur les apparitions et opuscules divers. *Essai sur les apparitions et les faits qui s'y rattachent. — Du bruit et du vacarme. — Allégories, paraboles et fables. — Remarques de Schopenhauer sur lui-même,* par ARTHUR SCHOPENHAUER. Première traduction française avec preface et notes par AUGUSTE DIETRICH. Tome VIII des *Parerga et Paralipomena.* 1 vol. in-16 .... **2** fr. **50**

Une philosophie nouvelle. Henry Bergson, par EDOUARD LE ROY. 1 vol. in-16, 2e édit. .... **2** fr. **50**

L'intuition bergsonienne, par J. SEGOND, docteur ès lettres. 1 vol. in-16 .... **2** fr. **50**

Œuvres philosophiques choisies de David Hume. Tome II : *Traité de la nature humaine. De l'entendement.* Traduit de l'anglais par MAXIME DAVID, professeur agrégé de philosophie. 1 vol. in-8 de la *Collection historique des Grands Philosophes* .... **6** fr.

PRÉCÉDEMMENT PARU : Tome I. *Essai sur l'entendement humain. Dialogues sur la religion naturelle.* Préface de L. LÉVY-BRUHL, professeur à la Sorbonne. 1 vol. in-8 .... **5** fr.

La Géographie humaine. *Essai de classification positive. Principes et exemples,* par J. BRUNHES, professeur au Collège de France. 2e édition, revue et augmentée, avec 272 grav. et cartes dans le texte et hors texte (dans 66 nouvelles). 1 fort vol. gr. in-8 de XV-802 pages. (*Couronné par l'Académie française et médaille d'or de la Société de Géographie de Paris*). **20** fr.

Le Maroc physique, par LOUIS GENTIL, professeur adjoint à la Sorbonne. 1 vol. in-16 de la *Nouvelle Collection scientifique,* avec cartes. **3** fr. **50**

Envoi franco contre mandat-poste.

ALFREDO BASSERMANN

ORME DI DANTE

IN ITALIA

Opera tradotta dalla 2ª Edizione tedesca
da **EGIDIO GORRA**

Grosso volume in-16 con copertina illustrata — Lire **3,50**

G. A. CESAREO

POESIE

Le occidentali - Gl'inni
Le consolatrici

Un volume in-16 legato in tela, con ritratto — Lire SEI

GIUSEPPE CESARE ABBA

LE RIVE DELLA BORMIDA

RACCONTO

NUOVA EDIZIONE CON PREFAZIONE
di **DINO MANTOVANI**

Un volume in-16 con copertina a colori — Lire QUATTRO

" SCIENTIA „ Rivista di Scienza

Toute correspondance ou envoi concernant la direction ou la rédaction, doit être adressé impersonnellement à la *Direction, Milan, Rue Aurelio Saffi, 11,* ou bien au *Secrétaire de la Rédaction, M. le Docteur* PAOLO BONETTI, *même adresse.*

On est prié d'adresser les *demandes d'abonnements:* pour l'Italie, à Nicola Zanichelli, éditeur à Bologne; pour la France, les Colonies françaises, la Suisse Romande et la Belgique, à Félix Alcan, éditeur à Paris; pour l'Allemagne, l'Autriche, la Hollande, la Danemark, la Suisse Allemande, la Suède et la Norvège, à Wilhelm Engelmann, éditeur à Leipzig; pour l'Angleterre et les Colonies Anglaises, à Williams and Norgate, éditeurs à Londres. Pour les autres pays à l'un ou à l'autre de ces quatre éditeurs.

Pour les **annonces** il faut s'adresser au secrétariat général à Milan, Rue Aurelio Saffi, 11, ou bien à l'éditeur Nicola Zanichelli à Bologne.

PRIX ANNUEL D'ABONNEMENT

Italie: lire **25**

Union Postale: **30** frs. — Mk. **24** — **24** sh.

Extrait de l'Avertissement à MM. les Auteurs.

« Le **Comité de Direction** se réserve la faculté d'établir par « avance le programme des questions à étudier et de répartir le « travail entre ses éminents collaborateurs afin d'assurer à la revue « l'unité organique qui ne serait pas réalisable si l'on acceptait des « articles sur des sujets disparates, sans aucun lien entre eux, « fussent-ils dus à la plume de savants d'une valeur incontestable.

« Tous les articles demandés, à quelque genre qu'ils appar- « tiennent, — articles proprement dits, notes critiques, comptes « rendus, revues générales etc. — seront rétribués au même tarif « de *80 frs. par feuille in-8°* (16 pages). L'auteur aura en outre « droit, quel que soit le genre de son écrit, à **100 extraits gratuits**; « pour les articles paraissant en deux langues il recevra gratuite- « ment **50 extraits du texte original et 50 extraits de la traduction « française.**

« **Les manuscrits ne sont pas rendus, pas même ceux qui, envoyés « sans avoir été demandés, ne pourraient pas être publiés** ».